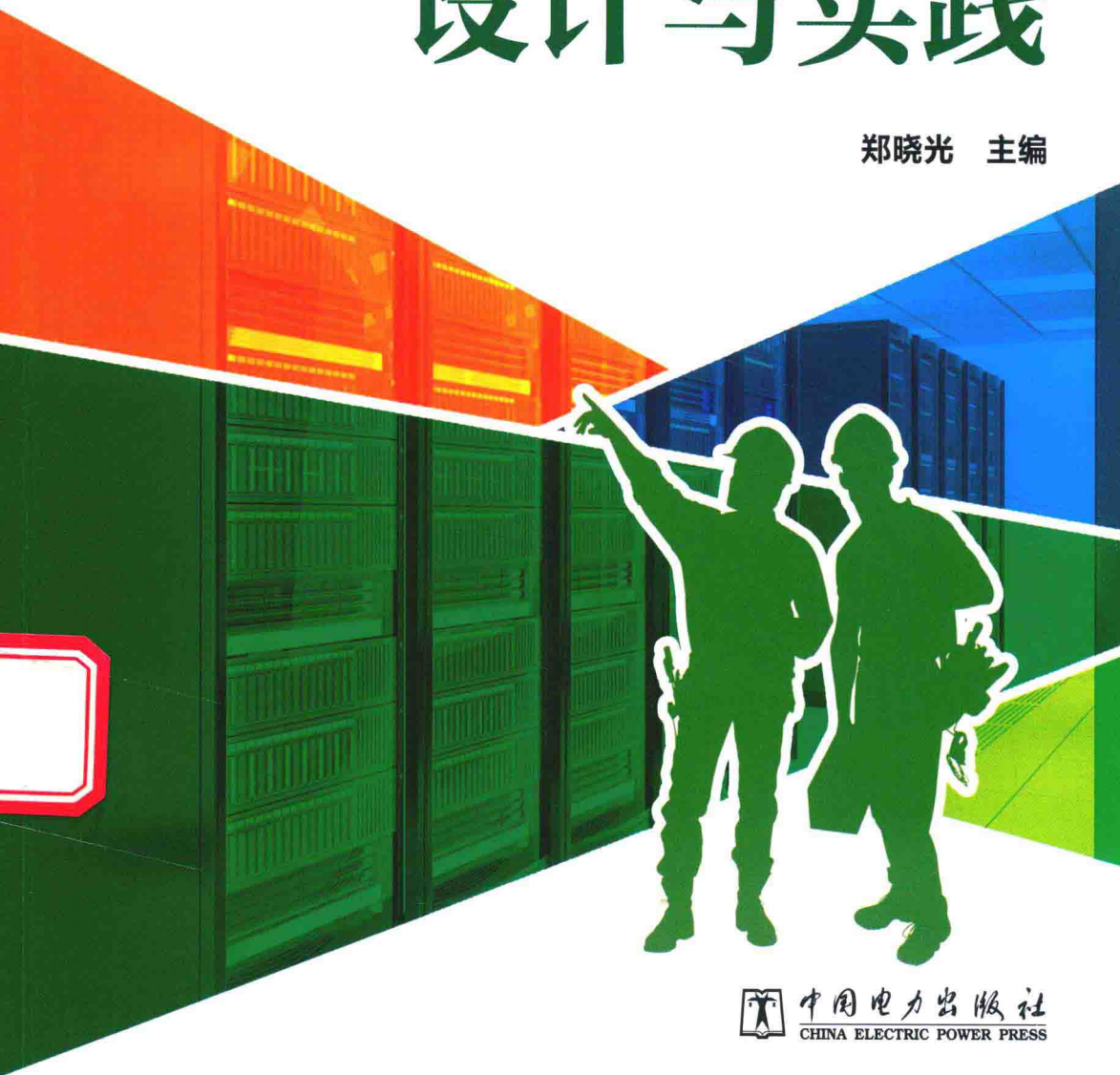


Smart Operation and Management Center for Electric Power Devices
—Design and Implementation

电力设备智能运维中心 设计与实践

郑晓光 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

Smart Operation and Management Center for Electric Power Devices
—Design and Implementation

电力设备智能运维中心 设计与实践

郑晓光 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

在协同经济时代,各行各业需要对自身的资源进行深度整合,以此挖掘信息化系统带来的大数据的价值,进一步降低边际成本,为企业及社会创造最大效益。本书以电网企业设备运行维护为切入点,提出了一种融合输变配环节的电力设备智能运维模式,阐述了完整的电力设备智能运维中心构建方法及步骤。

本书既可作为电力系统企业生产和管理人员学习借鉴的参考书籍,也可作为在校学生了解电力企业运作的参考书籍。

图书在版编目(CIP)数据

电力设备智能运维中心设计与实践 / 郑晓光主编. —北京: 中国电力出版社, 2016.10

ISBN 978-7-5123-5447-0

I. ①电… II. ①郑… III. ①电力设备—智能系统—智能设计 IV. ①TM4-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 209348 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2016 年 10 月第一版 2016 年 10 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 11 印张 182 千字

定价 45.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

编 委 会

主 编：郑晓光

副主编：余南华 郑文杰 陈 辉 谭 喆

翁奕珊

参 编：陈炯聪 陈云瑞 张 玲 邹国惠

吴熳红 黄怀辉 万 蝉 赖翠君

裴星宇 李传健 张晓平 李 瑞

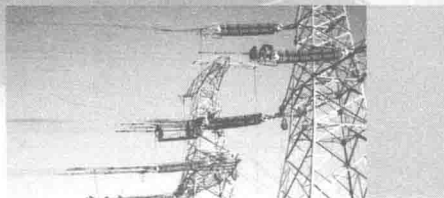
周克林 赵 煜 刘 东 周逢权

罗开明 张 妮 尤 毅 尹文君

闫海荣 孙福杰 张永平 吕新杰

徐炜达 邹克旭 郑亚茹

前言



电力系统经过多年的信息化建设，各专业线均具备自身的信息系统，但尚没有进行很好的有机整合，尚未发挥协同工作的效用并以此为电力企业创造高效的运作机制。在协同经济时代，各行各业需要对自身的资源进行深度整合，以此挖掘信息化系统带来的大数据的价值，进一步降低边际成本，为企业及社会创造最大效益。电力企业从发、输、变、配、用五个环节构成完整的电能生产及传递链，在电力体制改革的不断推进过程中，电网企业的业务及资产主要集中到输、变、配三个环节。为此，电力企业采用统一建模等手段，将输、变、配三个环节的资产、业务、流程等项目统一管理并运行。本书以电网企业日常工作最重要也是最繁重的设备运行维护为切入点，提出一种融合输、变、配环节的电力设备智能运维模式，实现电网资产的可视化全景监视，并探索跨专业的业务协同模式，降低电网企业的运维成本，提高整体工作效率。依托项目，建成了国内领先的电力设备智能运维中心。

本书从智能运维中心的顶层逻辑设计、基础架构、信息集成及建模、高级应用功能及工程案例五个角度，阐述了完整的电力设备智能运维中心构建方法及步骤。其中，第1章介绍了智能运维中心建设的背景与意义；第2章介绍了智能运维中心与智能电网建设的关系；第3章介绍了智能运维中心的系统架构；第4章介绍了智能运维中心的集成方式及系统建模、消息交互、业务接口等内容；第5章介绍了全景监视及关键指标预警驾驶舱等高级业务功能模块；第6章介绍了工程实施的实例。

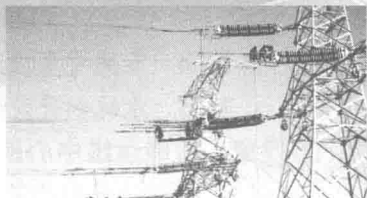
本书的主要编者来自广东电网有限责任公司电力科学研究院、珠海供电局，以及高校、设备生产企业等单位。在本书的编写过程中，得到了广东电网有限责任公司相关专业部门的大力支持与帮助，在此一并表示感谢。

由于作者水平有限，时间仓促，书中难免存在不妥与疏漏之处，恳请读者批评指正。

编者

2016年2月

目 录



前 言

第1章 概述	1
1.1 智能电网技术及智能运维中心的应用背景	1
1.2 智能电网的具体定义	2
1.3 智能运维中心的技术需求	6
1.4 智能运维中心的实施意义	8
第2章 智能电网与智能运维中心	9
2.1 我国城市智能电网的建设内容	9
2.1.1 智能化特征对应的建设内容	9
2.1.2 高效可靠特征对应的建设内容	9
2.1.3 绿色低碳特征对应的建设内容	15
2.1.4 互动节能特征对应的建设内容	16
2.2 智能运维中心在智能电网中的职能	20
2.2.1 我国城市智能电网的技术体系	20
2.2.2 智能运维中心的预期应用场景	20
第3章 智能运维中心系统架构	24
3.1 系统框架	24
3.1.1 业务术语及缩略语	24
3.1.2 业务功能框架	25
3.1.3 业务功能模块	26
3.1.4 业务功能与系统功能映射	27
3.2 技术架构	27
3.2.1 系统技术架构设计	27
3.2.2 系统数据实体设计	28
3.2.3 系统集成技术设计	29

3.2.4	系统安全性设计	31
3.2.5	系统部署设计	33
第4章	智能运维中心的信息集成	35
4.1	智能运维中心的信息集成背景与需求	35
4.2	智能运维与传统运维的差异	37
4.3	信息集成在智能运维中心的应用	39
4.4	信息集成技术与集成模式	41
4.4.1	信息集成技术	41
4.4.2	集成模式	45
4.5	信息集成业务典型设计流程	49
4.5.1	业务需求分析	49
4.5.2	业务消息格式设计	52
4.6	消息 XSD 与消息实例 XML 对应示例	61
4.6.1	业务用例及信息交互流程设计	62
4.6.2	系统集成层的通用用例与顺序图设计	62
4.6.3	应用层用例设计及顺序图设计	65
4.6.4	接口设计	65
4.6.5	接口适配器	71
4.7	智能运维中心的信息集成业务设计	72
4.7.1	业务需求分析	72
4.7.2	智能运维中心公共信息模型扩展	74
4.7.3	智能运维中心业务消息格式设计	84
4.7.4	智能运维中心业务用例及信息交互流程设计	85
4.7.5	智能运维中心的信息集成接口架构设计	116
第5章	高级应用功能设计	117
5.1	全景监视	117
5.1.1	基于地理信息的综合监视	117
5.1.2	基于电气接线图的综合监视	120
5.2	告警分析与处理	125
5.2.1	KPI 预警驾驶舱	125
5.2.2	事件告警驾驶舱	130
5.3	决策分析与优化	135

第6章 工程案例	139
6.1 项目背景	139
6.2 项目定位	140
6.3 典型运维业务流程分析	140
6.4 需求分析	143
6.5 系统设计	160
6.6 系统运行效果	162



概 述

1.1 智能电网技术及智能运维中心的应用背景

电气化技术被认为是人类在 20 世纪取得的最伟大的科技成就之一，它推进了人类社会的文明发展史。随着以数字化和网络化为特征的信息时代的来临，电力工业的发展正面临着新的挑战：①用于传统发电的一次化石能源已经日益枯竭，地球变暖也正在加剧，能源与环境问题成为制约社会发展的重要因素；②近年来国际上以美加“8·14 大停电”为代表的大规模停电事故频发，造成的社会影响和经济损失难以估量；③通信与信息技术的长足发展，对电网的可靠性、电能质量及自动化水平都提出了很高的要求；④配电网建设耗资巨大，但平均利用率仅能达到 30% 左右。很显然，传统电力技术并不能很好地解决这些问题。

智能电网（Smart Grid）是现代电网的发展方向和目标，它将成为可充分利用广泛分布的可再生能源的基础设施，是一种有望实现节能减排和减缓气候变暖的途径；智能电网将实现集中供能与分散供能的相互协调，提高电网抵御大面积停电风险的能力；它还将满足信息时代高电能质量、高供电安全和可靠性的要求；智能电网能够实现与用户的密切互动，提高电力部门与用户双方的电能和资产利用率。

智能电网是经济和技术发展的必然结果，其预期效益相当可观。日本东京电力公司的电网被认为是世界上唯一的接近于智能电网的系统。通过光纤通信网络，它正在逐步实现对系统范围的 6kV 中压馈线（已呈网络拓扑）的实时量测和自动控制（采样率每分钟一次）。在 2007 年 12 月通过的美国能源独立和安全法（EISA）中，美国也已明确把智能电网工程列入计划之中。

就具体业务及其技术环节角度而言，当前我国配电网运维工作还处于较低的技术水平，大部分电力设备的运行维护都依赖人工定期检修、巡视等手段来发现电力设备的故障或隐患，同时还在很大程度上无法杜绝电力设备人为外力破坏与偷盗。在实际的电力设备运行维护中，特别是配电网设备，由于布点广，不仅人工维护很难做到及时，即使是维修，也均发生在设备已经出现问题之后，无法做

到良性及时的维修。另外，当前电网企业在配电自动化系统、设备在线状态监测系统和用电信息采集与需求侧响应系统等方面的建设比较落后，从而造成运维工作处于“孤岛”状态，难以通过与相关系统的有效交互来实现业务部门的协调联动，更无法实现多重、复杂、极端的故障或灾害条件下的应急响应。由此可知，开展智能电网的研究对我国社会经济发展具有重大意义。

以智能运维中心为综合平台信息集成技术，通过集成输变配环节设备在线监测系统、配电自动化系统、营销客服系统、用电信息采集系统等，实现生产管理、设备检测、电能质量监控、信息采集等功能的自动化与智能化，支持各部门的协同工作，实现电网、设备、用户信息的全景展示和综合分析，提高电网与用户的交互能力，体现高效可靠、绿色优质、互动节能的智能特征。智能电网运维中心的建设，一方面提升了配电网运营管理自动化水平，提高了配电网可靠性水平，切实改善了配电网现状；另一方面为智能电网的后续全面建设奠定了坚实基础。

1.2 智能电网的具体定义

智能电网并没有一个确定的概念，各个领域的专家从不同角度阐述了智能电网的内涵，并且随着研究和实践的深入对其不断细化。

根据 IBM 公司高级电力专家 Martin Hauske 的解释，智能电网有三个层面的含义：①利用传感器对发电、输电、配电、供电等关键设备的运行状况进行实时监控；②将获得的数据通过网络系统进行收集、整合；③通过对数据的分析、挖掘，达到对整个电力系统运行的优化管理。

埃森哲认为，智能电网利用传感、嵌入式处理、数字化通信和 IT 技术，将电网信息集成到电力公司的流程和系统，使电网可观测（能够监测电网所有元件的状态）、可控制（能够控制电网所有元件的状态）和自动化（可自适应并实现自愈），从而打造更加清洁、高效、安全、可靠的电力系统。

在我国，智能电网广泛被接受的定义是这样的：智能电网是指一个完全自动化的供电网络，其中的每一个用户和节点都得到实时监控，并保证从发电厂到用户端电器之间的每一点上的电流和信息的双向流动。智能电网通过广泛应用的分式智能和宽带通信，以及自动控制系统的集成，能保证市场交易的实时进行和电网上各成员之间的无缝连接及实时互动。

表 1-1 描述了与传统电网相比，智能电网的新特征。

表 1-1

智能电网的新特征

特 征	传统电网	智 能 电 网
使用户能够积极参与电网优化运行	电价不透明,缺少实时定价,选择很少	提供充分的电价信息,分时/实时定价,有许多方案和电价可供选择
提供发电/储能	集中发电占优势,少量分布式发电、DR、储能或可再生能源	兼容所有发电和储能方式,除大型集中发电外有大量“即插即用”的分布式电源(发电和储能)辅助集中发电
开发新的产品、服务和市场	有限的趸售市场,未很好的集成	建立成熟、健壮、集成的电力市场,是能够确保供电可靠性,为市场参与者带来利益,为供应商创造市场机会,为消费者提供用电管理的灵活工具
为数字经济提供高质量的电能	关注停运,不关心电能质量	保证电能质量,有各种各样的质量/价格方案可供选择
优化资产利用和高效运行	很少计及资产管理	电网的智能化同资产管理软件深度集成,以确保资产使用的最优化、提高运行效率、降低成本和在更少人为参与的情况下设备运行时间更长
预测及应对系统干扰(自愈)	扰动发生时保护资产(保护跳闸)	防止断电,减少影响:在没有或很少人为参与的情况下独立地识别系统干扰并加以应对,进行持续的预测分析来检测系统中存在的和可能存在的问题并执行主动的预防性控制
灵活应对袭击和自然灾害	抗恐怖袭击和自然灾害能力弱	具有快速恢复能力,可抵御外界对系统物理设施(变电站、电杆、变压器等)和信息网络(市场、软件系统、通信)的侵袭:在系统遇到威胁时,其大量的传感器和智能设备可以进行预警和反应;其自愈能力能够帮助抵抗自然灾害;通过持续监测和自我测试可以减轻恶意软件和黑客的攻击

在这样的定义下,智能电网的主要技术组成体现在四个方面,包括高级量测体系(AMI)、高级配电运行(ADO)、高级输电运行(ATO)和高级资产管理(AAM)。各部分的技术组成如图 1-1 所示,用不同的灰度及阴影来区分。其中,AMI 的主要功能是授权给用户,使系统同负荷建立起联系,使用户能够支持电网的运行;ADO 可以使电网实现自愈功能;ATO 强调阻塞管理,并降低大规模停运的风险;AAM 与 AMI、ADO 和 ATO 的集成将大大改进电网的运行和资产使用效率。

1. 高级量测体系

AMI 的主要功能是授权给用户,使系统同负荷建立起联系,使用户能够支持电网的运行。AMI 是许多技术和应用集成的解决方案,其技术组成和功能如下:

(1) 智能电表。可以定时或即时取得用户带有时标的分时段的(如 15min、1h 等)或实时(或准实时)的多种计量值,如用电量、用电功率、电压、电流和其他信息;事实上已成为电网的传感器。

(2) 通信网络。采取固定的双向通信网络,能把表计信息(包括故障报警和

装置干扰报警) 接近于实时地从电表传到数据中心, 是全部高级应用的基础。

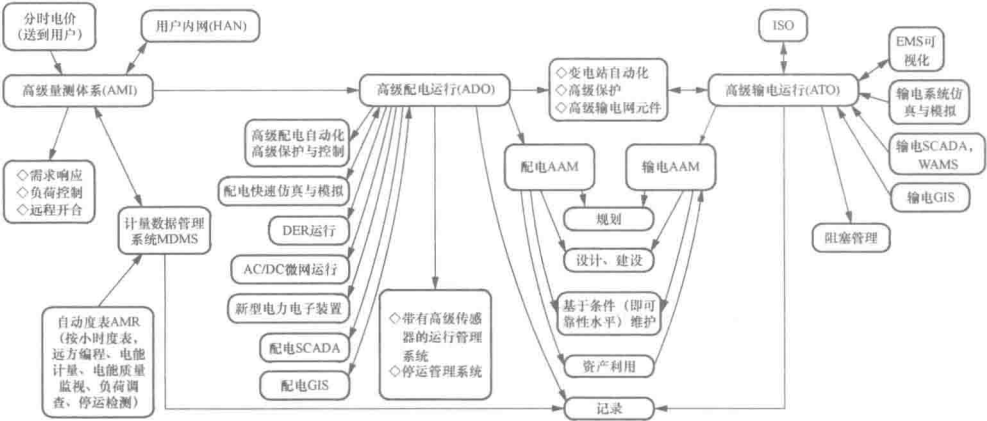


图 1-1 智能电网的主要技术组成

(3) 计量数据管理系统 (MDMS)。这是一个带有分析工具的数据库, 通过与 AMI 自动数据收集系统的配合使用, 处理和储存电表的计量值。

(4) 用户室内网 (HAN)。通过网关或用户入口, 把智能电表和用户户内可控的电器或装置 (如可编程的温控器) 连接起来, 使得用户能根据电力公司的需要, 积极参与需求响应或电力市场。

- (5) 提供用户服务 (如分时或实时电价等)。
- (6) 远程接通或断开。

2. 高级配电运行

ADO 的技术组成和功能如下:

- (1) 高级配电自动化。
- (2) 高级保护与控制。
- (3) 配电快速仿真与模拟。
- (4) 新型电力电子装置。
- (5) DER 运行。
- (6) AC/DC 微网运行。
- (7) 运行管理系统 (带有高级传感器)。

ADO 主要的功能是使系统可自愈。为了实现自愈, 电网应具有灵活的可重构的配电网络拓扑和实时监控、分析系统目前状态的能力。后者既包括识别故障早期征兆的预测能力, 也包括对已经发生的扰动做出响应的能力。而在系统中安

放大量的监视传感器并把它们连接到一个安全的通信网上去,是做出快速预测和响应的关键。

快速仿真与模拟(fast simulation and modeling, FSM)是 ADO 的核心软件,其中包括风险评估、自愈控制与优化等高级软件系统,为智能电网提供数学支持和预测能力,以期达到改善电网的稳定性、安全性、可靠性和运行效率的目的。配电快速仿真与模拟(DFSM)需要支持四个主要的自愈功能:①网络重构;②电压与无功控制;③故障定位、隔离和恢复供电;④当系统拓扑结构发生变化时继保再鉴定。

上述主要功能相互联系,致使 DFSM 变得很复杂。例如,电网的任一重构均要求一个新的继电保护配合和新的电压调节方案,还包含恢复供电功能。

DFSM 通过图 1-2 所示的分布式的智能网络代理(intelligent network agents, INAs)来实现跨地理边界和组织边界的智能控制,从而实现系统的自愈功能。这些智能网络代理能收集和交换系统信息并对局部控制(如继电保护操作)做出决策,同时根据整个系统要求协调这些决策。

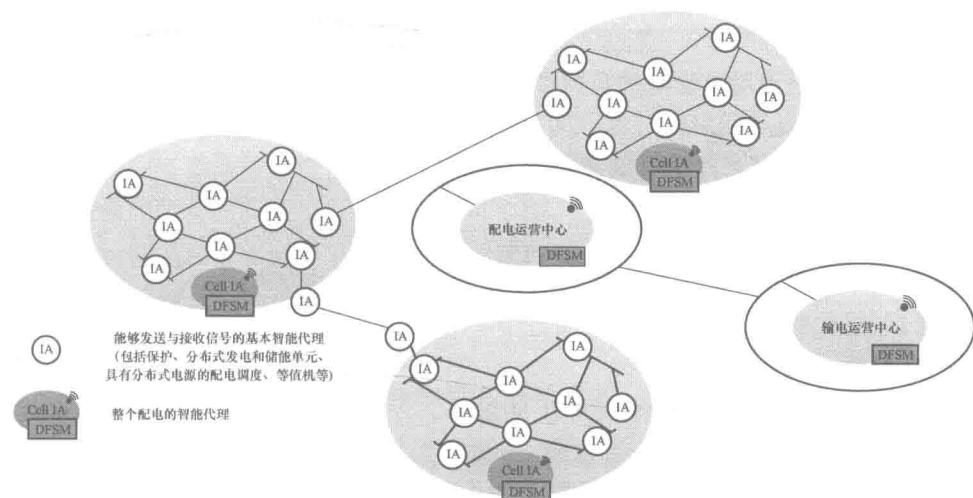


图 1-2 分布式（非中央化）的智能网络代理

ADO 中的高级配电自动化(ADA)是智能电网实现自愈的基础。与传统配电自动化相比,ADA 是革命性的。因为 ADA 是用于电力交换系统的(由于分布式电源上网运行,而使配电网支路上的潮流可能是双向的),其中将使用电力电子、信息、分布式计算与仿真方面的新技术;同时,ADA 可为用户提供新的服务。

3. 高级输电运行

ATO 强调阻塞管理和降低大规模停运的风险，ATO 同 AMI、ADO 和 AAM 的密切配合实现输电系统（运行和资产管理）的优化。

输电网是电网的骨干，ATO 在智能电网中的重要性毋庸置疑，其技术组成和功能如下：

- （1）变电站自动化。
- （2）输电的地理信息系统。
- （3）广域量测系统。
- （4）高速信息处理。
- （5）高级保护与控制。
- （6）模拟、仿真和可视化工具。

（7）高级的输电网络元件，如电力电子（灵活交流输电、固态开关等）、先进的导体和超导装置。

（8）先进的区域电网运行，如提高系统安全性，适应市场化和改善电力规划和设计的规范与标准（特别注意电网模型的改进，如集中式的发电模型以及受配电网和有源电力用户影响的负荷模型）。

4. 高级资产管理

AMI、ADO 和 ATO 同 AAM 的集成将大大改善电网的运行和效率。

实现 AAM 需要在系统中装设大量可以提供系统参数和设备（资产）“健康”状况的高级传感器，并把所收集到的实时信息同如下过程集成：

- （1）优化资产使用的运行。
- （2）输、配电网规划。
- （3）基于条件（如可靠性水平）的维修。
- （4）工程设计与建造。
- （5）顾客服务。
- （6）工作与资源管理。
- （7）模拟与仿真。

1.3 智能运维中心的技术需求

智能运维中心需要重点实现以下几方面的技术需求。

1. 具备开放性要求

智能运维中心的软、硬件平台应具有良好的开放性和广泛的适应性，基础支撑平台及应用功能模块均应基于相关国际、国家、行业及企业标准开发，基础支撑平台可插入任何符合相关标准的应用模块或子系统，并支持模块或子系统间的数据和功能交互，系统规模和功能可按需扩展。

2. 具备安全性和可靠性需求

智能运维中心应满足信息系统安全等级保护及电力二次系统安全防护相关标准、规范的要求，在运行过程中应确保不对电网安全运行产生负面影响，不因系统本身的故障或错误导致电网安全事故。

智能运维中心建设时应充分考虑可靠性要求，通过关键硬件设备及软件，采用冗余配置、集群（主备/负荷均衡）技术、虚拟化技术、容灾备用等技术手段，消除单点故障，确保不因部分软硬件故障而影响系统功能的正常运行。

3. 具备集约性要求

智能运维中心宜按安全分区统一配置通信服务器、数据库服务器、应用服务器、Web 服务器、存储设备、二次安全防护设备、同步时钟、打印机、操作系统、虚拟化平台软件、关系数据库软件、时序数据库软件等软硬件设施。

各类服务器应根据应用特点选用适当的体系架构和系统配置。对性能及可靠性要求很高的实时类应用服务器应专机专用，对计算密集的应用应选用高性能服务器，对性能和可靠性要求相对较低的管理类应用可虚拟化服务器。

各类软硬件设施应统一管理，合理分配，按需扩充或升级改造。

各类软硬件设施具备采用国产化设备条件的，应优先采用国产化设备。

4. 具备易用性、可维护性和可管理性要求

智能运维中心应提供方便易用的操作、维护和管理界面，系统功能组织合理、界面美观易懂、操作方便快捷，使用人员无需经过复杂的培训即可掌握并使用此系统。

智能运维中心应具备系统自检、性能预警、事件告警、故障诊断等监控功能，可对系统软硬件设备进行全面的监测，并具备统一的管控界面，方便管理人员及时发现并排除系统隐患及故障。

智能运维中心所采用的软硬件设备应具有良好的可管理性，可自动报告自身状态或响应状态查询指令，可响应运行控制指令（启动/停止、主备切换等）。

1.4 智能运维中心的实施意义

智能电网和智能运维中心的实施意义如下：

(1) 形成电力设备运行管理中心，整合输、变、配电网各类系统的信息资源，总体实现城市电网及设备运行维护的智能化，提高电力设备的管理效率。

(2) 基于设备自身状态与电网运行水平的监测，借助地理信息和电气接线两种模式的图形化展示手段，以及电力系统动态分析与仿真技术，实现输、变、配电网动态、灵活、直观和多维的可视化和控制。

(3) 基于监测/监视输、变、配电设备运行情况的智能诊断和定位技术，实现设备的状态检修与基于条件（可靠性）的运维，辅助故障抢修与计划检修策略的快速准确制定。

(4) 形成一体化信息与业务的集成平台，并借助信息总线技术，实现与其他智能化信息系统的信息交互与业务交互，保障应急指挥、配用电配合调峰等智能电网高级功能的实施。

智能电网与智能运维中心

2.1 我国城市智能电网的建设内容

根据我国政府对节能减排的需求以及广大用户对供电电能质量、安全性、可靠性、经济性的需求不断提高,我国城市智能电网应着力展现智能电网的高效可靠、绿色低碳和互动节能特征。

2.1.1 智能化特征对应的建设内容

当前电网企业对设备数据与运行信息均实施各业务部门的分散管理,一方面造成系统信息冗余且难以统一,无法为实际工作提供准确的数据支持;另一方面,也造成在电网整体状态展示与紧急情况下的生产指挥等业务很难得到有效开展,影响电网企业的工作效率。这恰恰是当前电网智能化所面临的核心问题,基于此问题的实现,便可最大程度地整合各部门的数据信息与具体业务,促成电网企业的高效管理。

智能运维中心建设直接体现配电网智能化特征,是智能电网建设的重点工程。

智能运维中心是配电网全面实现管理智能化的重要手段。它将构建配用电一体化信息支撑平台,以整合输、变、配电设备状态监测系统所采集的设备状态数据与调度/配电自动化等系统所采集的电网运行数据,并实现各部门及相应系统间的数据交互与展现、正常运行时的生产指挥、应急条件下的生产指挥、系统总体状态评估与展示、风险管控与预警等功能,从而指导电网运行操作人员的实际工作,大幅度提升电网运维的智能化水平。

2.1.2 高效可靠特征对应的建设内容

随着城市的发展和产业技术升级的推进,电力用户,特别是以高新技术企业为代表的重要用户,对供电可靠性和供电质量提出了更高的要求,智能电网的高效可靠供电特征正是对这一需求的积极响应。

体现智能配电网高效可靠特征的重点工程包括高级配电自动化建设、设备状